

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-174724

(43)Date of publication of application : 29.06.2001

(51)Int.Cl.

G02B 26/08

G02B 6/28

(21)Application number : 2000-350490

(71)Applicant : LUCENT TECHNOL INC

(22)Date of filing : 17.11.2000

(72)Inventor : VLADMIR ANATOLYEVICH
BISHOP DAVID JOHN
RANDY CLINTON

(30)Priority

Priority number : 1999 166149

Priority date : 17.11.1999

Priority country : US

2000 512174

24.02.2000

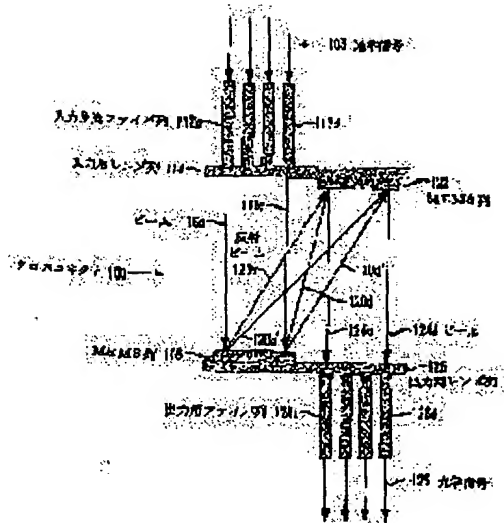
US

(54) OPTICAL CROSS CONNECT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical connect system which reduces a power loss and has a flexible frequency routing function.

SOLUTION: The optical cross connect 100 has a lens array 114 which receives an optical signal from plural input fibers 112. The lens array consists of plural lens elements, and each lens element directs the optical signal to MEMS mirror arrays 118 and 122, that is, converges light. These MEMS mirror arrays have plural mirror elements, and each element is inclined around one or plural axes of rotation by applying a control signal to a desired mirror element. Thus, the optical signal is directed to various output fibers 128 along various paths.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the
examiner's decision of rejection or application
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of
rejection]

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 2 B 26/08 6/28		G 0 2 B 26/08 6/28	E Q

審査請求 未請求 請求項の数9 OL 外国語出願 (全 21 頁)

(21)出願番号 特願2000-350490(P2000-350490)

(22)出願日 平成12年11月17日(2000.11.17)

(31)優先権主張番号 60/166149

(32)優先日 平成11年11月17日(1999.11.17)

(33)優先権主張国 米国(US)

(31)優先権主張番号 09/512174

(32)優先日 平成12年2月24日(2000.2.24)

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 596077259
ルーセント テクノロジーズ インコーポ
レイテッド
Lucent Technologies
Inc.
アメリカ合衆国 07974 ニュージャージ
ー、マレーヒル、マウンテン アベニュー
600-700

(74)代理人 100081053
弁理士 三俣 弘文

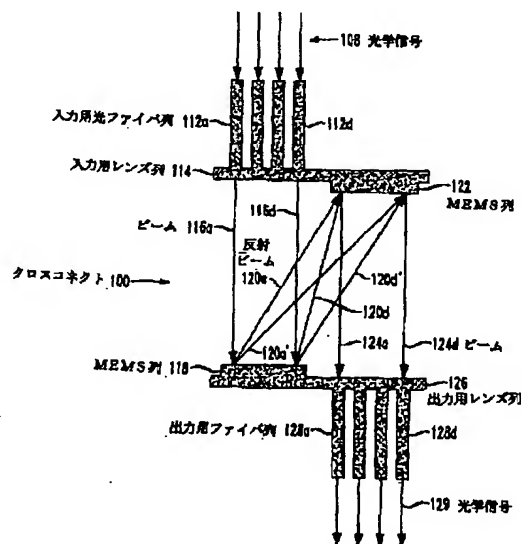
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学クロスコネクタ

(57)【要約】

【課題】 パワー損失を減らし、フレキシブルな周波数ルーティング機能を有する光学コネクタシステムを提供すること。

【解決手段】 本発明の光学クロスコネクタ100は、複数の入力ファイバ112から光学信号を受領するレンズ列114を有する。このレンズ列は複数のレンズ素子から構成され、各レンズ素子は、光学信号をMEMSミラー列118、122に向ける。即ち、集光する。このMEMSミラー列は、複数のミラー素子を有し、各素子は制御信号を所望のミラー素子に加えることにより一つあるいは複数の回転軸の周囲で傾斜する。かくして光学信号は様々なバスに沿って様々な出力ファイバ128に向けることが出来る。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の入力用光ファイバ(112a)から受光した光学信号を複数の出力ファイバ(128a)に向ける光学クロスコネクタにおいて、

複数の入力用光ファイバから光学信号を受光し、この光学信号を方向づけるよう配置されたレンズ列(114)と、

複数のミラー素子を有するMEMSミラー列(118、122)と、から成り、前記ミラー素子は、ミラー素子が選択的に傾斜可能な回転軸を有し、

前記ミラー列は、前記レンズ列により向けられた光学信号を受光し、この向けられた光学信号を複数の出力用光ファイバ(128a)に反射するよう配置されることを特徴とする光学クロスコネクタ。

【請求項2】前記レンズ列は、前記MEMSミラー列から反射された光学信号を受光し、この反射された光学信号を複数の出力用光ファイバに向けることを特徴とする請求項1記載の光学クロスコネクタ。

【請求項3】前記各回転軸は、第1の回転軸と第2の回転軸とを有し、

前記各ミラー素子は、前記第1の回転軸と第2の回転軸に対し傾斜可能であることを特徴とする請求項1記載の光学クロスコネクタ。

【請求項4】前記MEMSミラー列は、入力用ミラー列と出力用ミラー列とを有し、

前記出力用ミラー列は、前記入力用ミラー列と光学的に導通するよう配置され、前記入力用ミラー列からの反射された光学信号を受光し、前記受光し反射された光学信号を複数の出力用光ファイバに向けることを特徴とする請求項1記載の光学クロスコネクタ。

【請求項5】前記レンズ列は、複数の入力用光ファイバから光学信号を受光する入力用レンズ列を有し、前記光学信号を複数の出力用光ファイバに向ける、前記MEMSミラー列と光学的に導通する出力用レンズ列を更に有することを特徴とする請求項1記載の光学クロスコネクタ。

【請求項6】前記レンズ列は、複数の入力用光ファイバから光学信号を受光し、この受光した光学信号を複数の入力用ミラー列に向ける入力用レンズ列を有し、

前記出力用ミラー列から光学信号を受光し、この受光した光学信号を複数の出力用光ファイバに向ける、前記MEMSミラー列と光学的に導通した出力用レンズ列を更に有することを特徴とする請求項4記載の光学クロスコネクタ。

【請求項7】前記入力用レンズ列は、前記出力用レンズ列と同一面にあることを特徴とする請求項6記載の光学クロスコネクタ。

【請求項8】前記入力用レンズ列と出力用レンズ列とは互いに空間を形成するよう離間して共通基板上に形成され、

前記空間上に前記入力用ミラー列からの光学信号を受光し、この光学信号を前記出力用ミラー列に向ける反射素子を更に有することを特徴とする請求項7記載の光学クロスコネクタ。

【請求項9】複数の入力用光ファイバと複数の出力用光ファイバが光ファイバ列を構成し、

前記MEMSミラー列から光学信号を受光し、この受光した光学信号をMEMSミラー列に反射して戻す、前記MEMSミラー列と光学的に導通した位置に配置された反射素子を有し、

前記反射された光学信号は、MEMSミラー列により前記レンズ列に向けられて光ファイバ列が受光することを特徴とする請求項1記載の光学クロスコネクタ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ファイバ通信システムに関し、特にマイクロ電子機械システム(micro Electromechanical systems;MEMS)傾斜ミラー列を用いた光学クロスコネクタ構造に関する。

20 【0002】

【従来の技術】光ファイバ通信システムにおいては、信号のルーティングがデータを搬送している光学信号を目的とする場所に向けるために必要である。既存のルーティング技術は、入力ファイバと出力ファイバとの間の光学信号の結合の効率が悪いために光学パワー損失を受ける。このため光学パワーを光学システム内に注入することによりパワー損失を補うために用いられる光学パワーソース(例、ポンプレーザ)への依存度を増すことになる。光学パワーソースが必要となることにより光学システムの全体的なコストが上昇する。

30

【0003】信号ルーティングに対する別の必須要件は、複数の入力ファイバあるいはポートの一つから受信した信号を複数の出力ファイバあるいはポートの何れかに、光学信号の周波数と無関係に向けることを特徴とするが出来ることである。公知の光学信号のルーターは、周波数依存性があるために信号の周波数に基づいて出力ポートにそれぞれが別々の波長を有する複数の信号をルーティングすることに対し影響力を有する。例えば、米国特許出願第09/414,622号(1999年10月8日出願)においては周波数が隣接する複数の波長は、ランダムに選択された出力ファイバではなく、空間的に隣接する出力ファイバにルーティングされる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】従って、光学コネクタシステムはパワー損失を減らし、フレキシブルな周波数ルーティング機能を有するのが好ましい。

【0005】

【課題を解決するための手段】従来公知の光学クロスコネクタに対する改良は、入力光ファイバから出力光ファイバに光学信号を向けるための傾斜したマイクロ電子機

50

械システム(MEMS)ミラーの列を用いた光学クロスコネクトを提供することにより実現できる。本発明の光学クロスコネクトは、複数の入力ファイバから光学信号を受領するレンズ列を有する。このレンズ列は複数のレンズ素子から構成され、各レンズ素子は、光学信号をMEMSミラー列に向ける。即ち、集光する。このMEMSミラー列は、複数のミラー素子を有し、各素子は制御信号を所望のミラー素子に加えることにより一つあるいは複数の回転軸の周囲で傾斜する。かくして光学信号は様々なパスに沿って様々な出力ファイバに向けることが出来る。

【0006】本発明の一実施例においては、入力用と出力用のレンズ列は入力用と出力用のMEMSミラー列と共に用いられる。この入力用レンズは入力光学信号を入力用のMEMS列に向けて、そしてこの入力用MEMS列が各信号を各ミラーの傾斜方向に関連した方向に反射させる。この反射した信号を出力用のMEMSミラー列が受光し、更にそれを出力用レンズ列に向けて反射して出力用ファイバと結合する。

【0007】本発明の他の実施例においては、入力用と出力用のレンズ列は、共通の基板上に形成され、反射表面がそれらの間に配置されて入力用と出力用のMEMSミラー列が第1の基板とは反対の場所に配置された第2の共通基板上に形成される。この反射表面は、入力用のMEMS列から反射された光学信号を受光し、それらを出力用のMEMS列に向ける。

【0008】本発明の更に別の実施例においては、透過特性を有する光学素子を第1のMEMSミラーと第2のMEMSミラーと光学的に導通する場所に配置する。この光学素子は、光学信号を透過あるいは反射の何れかでもって第1と第2のミラー列との間で光学信号を向けて第1光ファイバ列と第2光ファイバ列の間に光学信号を選択的に転送する。

【0009】

【発明の実施の形態】マイクロ電子機械システム(MEMS)技術を用いて実現した2軸の傾斜ミラーの列により、光学システムで用いられる大規模な光学クロスコネクトが構成できる。光学クロスコネクトを用いて複数の入力光学パスを複数の出力光学パスに接続する。光学クロスコネクトの一般的な要件は、何れかの入力も、何れかの出力に接続できることである。ミラー列10の例を図1に示す。このミラー列10は、スプリング14に搭載され電極(図示せず)により制御された複数の傾斜ミラー12を有する。各傾斜ミラー12は、100-500 μ mの大きさを四角形、円形、楕円形のような形状をしており、電極に加えられた電圧により決定される傾斜角でもってX-Y軸の周囲に回転、即ち、傾斜する。ミラー列10の動作の詳細は、米国特許出願第09/415, 178号(出願日:1999年10月8日)に開示されている。複数のミラー列10を用いて光学クロスコ

ネクトを構成する一般的な技術は、米国特許出願第09/410, 586号(出願日:1999年10月1日)に開示されている。

【0010】本発明によれば1つあるいは複数のMEMS傾斜ミラー列をレンズ列と共に用いることにより様々な光学クロスコネクトの構成がコンパクトなサイズ(即ち、クロスコネクト構成要素の間のスペースが最小)で光学パワー損失が最小となるようなものが実現できる。本発明によるクロスコネクト100を図2に示す。クロスコネクト100は、従来公知の列として形成した複数の入力用光ファイバ列112を介して光学信号108を受光する。入力用光ファイバ列112は、説明を容易にするために4本の入力用光ファイバ列112a, 入力用光ファイバ列112b, 入力用光ファイバ列112c, 入力用光ファイバ列112dを有する一次元列として示している。本明細書における光ファイバ列112と他の光ファイバ列は2次元のN \times Nの列とする。

【0011】入力用光ファイバ列112はコリメートレンズとして機能する入力用レンズ列114に光学信号108を送る。入力用レンズ列114は入力用光ファイバ列112に対し、各レンズは光学信号108からのペンシルビーム116を生成できる光ファイバと光学的に通じるように配置される。ビーム116aは入力用光ファイバ列112aにより搬送された信号から生成され、ビーム116dは入力用光ファイバ列112dにより搬送された信号から生成される。以下同様である。

【0012】第1のMEMS傾斜ミラー列である118は、入力列とも称し、入力用レンズ列114と整合して配置され、その結果傾斜ミラー12がビーム116を受光する。ミラー素子は米国特許出願第09/415, 178号に開示された方法で傾斜して、ビーム116を第2の即ち出力用MEMSミラー列である122に反射する。そしてこのMEMS列122は、MEMS列118と光学的に導通した位置に配置されている。MEMS列118内の各ミラー素子の傾斜角に依存して反射信号は、MEMS列122内の特定のミラー素子に選択的に向けられる。この原理を示すためにビーム116aは、反射ビーム120aと反射ビーム120a'を生成し、ビーム116dは、反射ビーム120dと反射ビーム120d'を反射するように示している。これらのビームをMEMS列122内のミラー素子が受光し、それをビーム124として出力用レンズ列126に向ける。出力用ファイバ列128は、出力用レンズ列126と整合して光学信号129を受領する。斯くして出力用レンズ列126はビーム124を出力用ファイバ列128に結合する。

【0013】クロスコネクト100は各出力ファイバを出力ミラー列内のミラーに1対1でマッピングする。これはシングルモードファイバが必要であるがその理由は、パワー損失を低く押さえるために入力ビームと出力

ビームが光ファイバの軸と同軸で整合するのに必要な開口数が小さいためである。図2のクロスコネクタによりファイバ列とミラー列との十分なスペースが必要とされるミラー角のズレを制限することが出来る。

【0014】回折損失を低下させるような通常のスペース寸法は、50-100mmである。ミラー列とレンズ列とファイバ列が同一面上にある。即ち、入力用光ファイバ列112と入力用レンズ列114とMEMS列122が互いに同一面上にある場合には出力用ファイバ列128、出力用レンズ列126、MEMS列118は互いに同一面上にあり、かくして2つの類似のモノリシックなブロックが形成できる。このクロスコネクタの組立は、1つの6軸整合を必要とするだけである。

【0015】本発明の他のクロスコネクタ200を図3に示す。図2のクロスコネクタ100と同様にクロスコネクタ200は、入力用レンズ列214と出力用レンズ列226とを有し、それぞれ入力用光ファイバ列212と出力用ファイバ列228とを通過する光学信号を通じさせる。入力用ミラー列MEMS列218と出力用ミラー列222は入力ファイバ列と出力ファイバ列の間で光学信号を向けることが出来るように入力用レンズ列214と出力用レンズ列226とから離間している。クロスコネクタ100とは異なり図3のデバイスは、クロスコネクタ網の反対側に配置されたMEMSミラー列とレンズ列とを有し、これにより製造が容易となる。特にミラー列は第1の共通基板上にモノリシックに集積され、レンズ列とファイバ列は第2の共通基板上にモノリシックに集積される。MEMSミラー列の間の信号ルーティングを行うために入力用レンズ列214と出力用レンズ列226は互いに離間して共通基板上に形成され、その結果それらの間に反射素子230が配置される。反射素子230は、個別の平面ミラーあるいはレンズ基板上に形成された反射コーティング材料（例、金）でMEMS列218とMEMS列222との間の光学信号を通信するよう配置されている。レンズ列が配置されると反射ビーム220は同一面のミラー列で1個の6軸整合が必要とされるだけである。

【0016】図4に図3の変形例をクロスコネクタ300として示す。図3との主な違いは反射素子230を取り除いたことである。同図に示すように、MEMS列318とMEMS列322は、入力用レンズ列314、出力用レンズ列326を含む基板面に対し傾斜しており、その結果光学信号は、ミラー列との間を直接やりとりされる。この実施例においては各ファイバ列（例、入力用光ファイバ列312）と対向するミラー列（例、MEMS列318）との間の最大距離は小さい。これは重要な設計上の考慮事項であり、特にファイバ列の正確な方向付けが弱いときにそうである。ミラー列内のミラー素子は、スイッチの接続（例、ルーティング機能）を調整するためのみならず、ファイバ列の不完全性を補うために

も用いることが出来る。

【0017】図5は、MEMSミラー列420に対しオフセット構造のミラー430を採用した別のクロスコネクタ400を示す。この実施例においては1つのファイバ列410と1つのレンズ列416と1つのMEMSミラー列420が折り重なった状態のクロスコネクタ構成で用いられる。1本のファイバ列は、組み合わせられた入力／出力列として機能する。入力信号412は光ファイバ414によりレンズ列416に与えられ、MEMSミラー列420a上にイメージを形成する。その後このビームはミラー430に反射され、更にMEMSミラー列420bに反射して戻され、レンズ列416を介して出力用ファイバ422に出力する。この構成においては入力ポートと出力ポートとの間の区別は存在しない。斯くして1つのポートを使用せずに32×32のミラー列でもってこのクロスコネクタは、1×1023のスイッチ、あるいは3411×2のスイッチの列、あるいは512×512の光学クロスコネクタとして用いることが出来る。他の変形例も存在する。例えば、クロスコネクタの要素の他の組み合わせ（例、2個の1×128のスイッチ、64個の2×2のスイッチ、1個の256×256スイッチを32×32ミラー列と共に使用することが出来る）である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明と共に用いられるMEMSミラー列の一例を表す平面図。

【図2】本発明の一実施例による光学クロスコネクタを表す図。

【図3】図2の光学クロスコネクタの他の実施例を表す図。

【図4】図2の光学クロスコネクタの更に別の実施例を表す図。

【図5】本発明の更に別の実施例による「折り曲げられた」光学クロスコネクタを表す図。

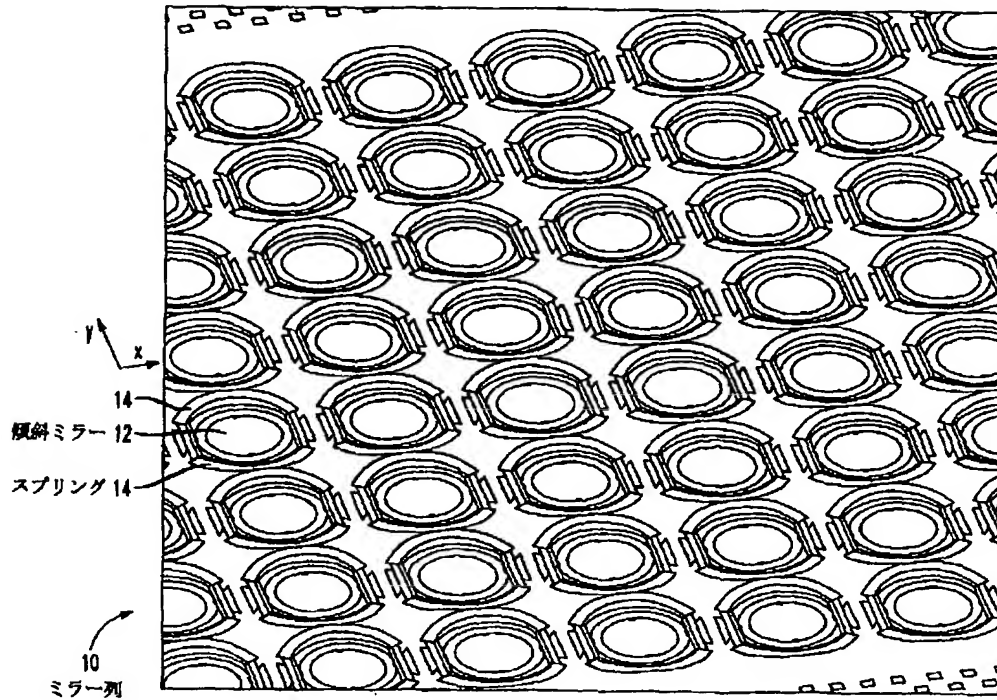
【符号の説明】

10	ミラー列
12	傾斜ミラー
14	スプリング
100, 200, 300	クロスコネクタ
108, 208, 308	光学信号
112, 212, 312	入力用光ファイバ列
114, 214, 314	入力用レンズ列
116, 216, 316	ビーム
118, 218, 318	MEMS列
120, 220	反射ビーム
122, 222, 322	MEMS列
124, 224, 324	ビーム
126, 226, 326	出力用レンズ列
128, 228, 328	出力用ファイバ列
129, 229, 329	光学信号

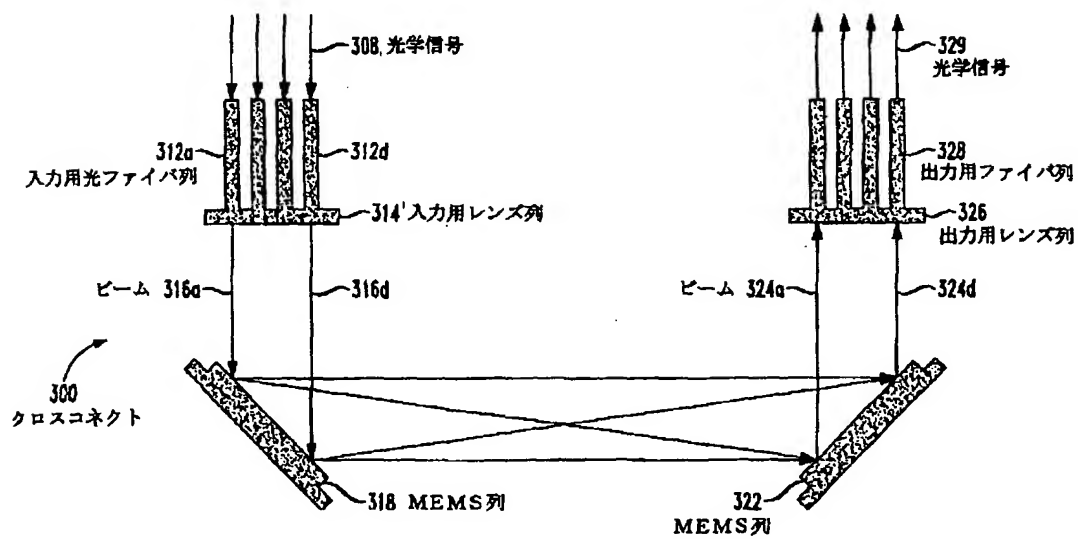
230 反射素子
400 クロスコネク
410 ファイバ列
412 入力信号
414 光ファイバ

* 416 レンズ列
418 ビーム
420 MEMSミラー列
430 ミラー
* 422 出力用ファイバ

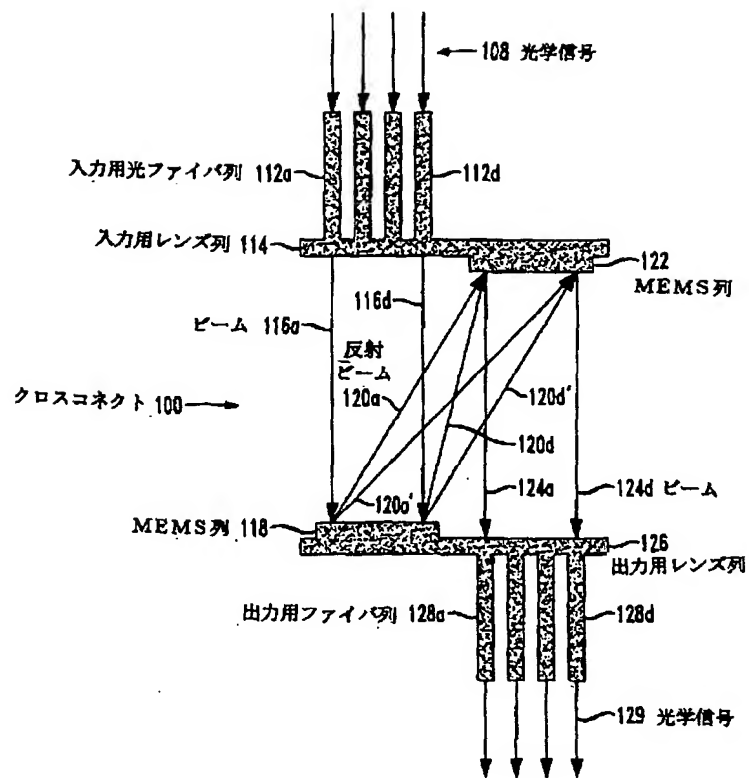
【図1】



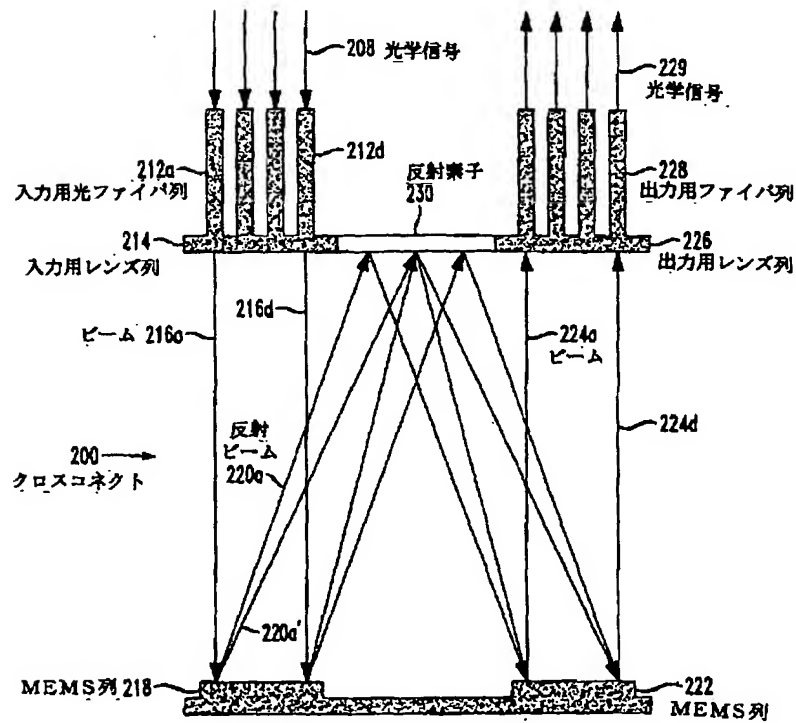
【図4】



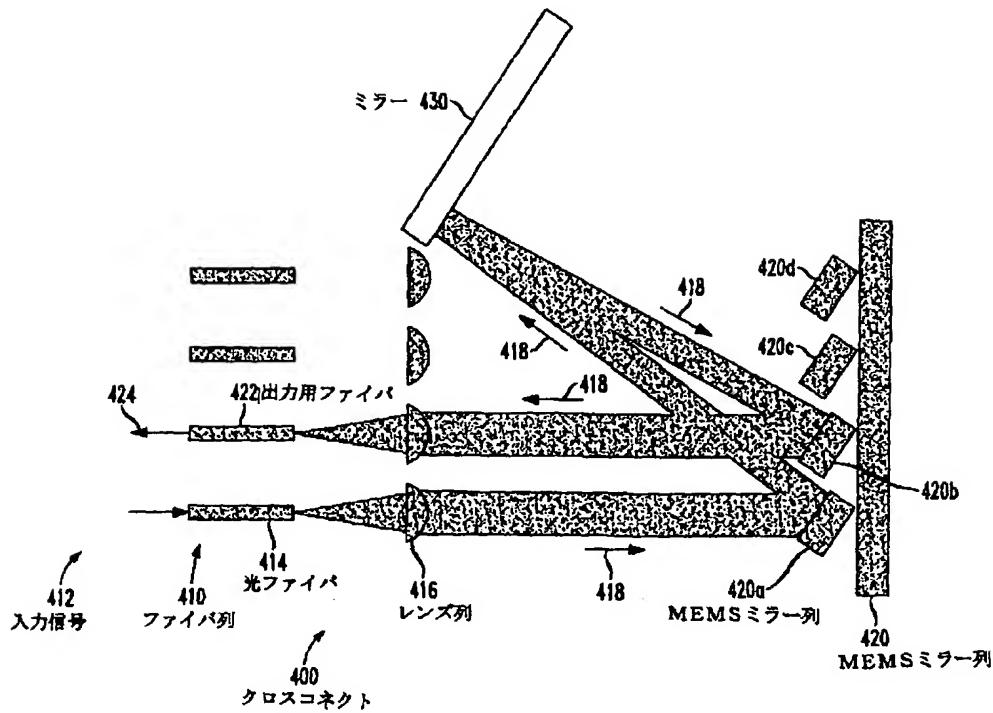
【図2】



【図3】



【図5】



フロントページの続き

(71)出願人 596077259

600 Mountain Avenue,
Murray Hill, New Je
rsey 07974-0636U. S. A.

(72)発明者

ブラディミール アナトリエビッチ
アメリカ合衆国、08854 ニュージャージ
ー、ビスカタウェイ、ミンディ レーン
405

(72)発明者 デビッド ジョン ビショップ

アメリカ合衆国、07901 ニュージャージ
ー、サミット、オーク クノル ロード
7

(72)発明者 ランディ クリントン

アメリカ合衆国、07981 ニュージャージ
ー、ウィッパニー、パーシッパニー ロー
ド 114

【外国語明細書】

1. Title of Invention

Optical Crossconnect Using Titrting Mirror MEMS Array

2. Claims

1. An optical crossconnect device for directing optical signals received from a plurality of input optic fibers to a plurality of output optic fibers, comprising:

an array of lenses positioned for receiving the optical signals from the plurality of input optic fibers and for directing the optical signals; and

a MEMS mirror array having a plurality of mirror elements, with each mirror element having a rotational axis about which each said mirror element is selectively operably tiltable, said mirror array being positioned for receiving optical signals directed by said lens array and for reflecting the directed optical signals to the plurality of output optic fibers.

2. The device of claim 1, wherein said lens array receives the reflected optical signals from said MEMS mirror array and directs the reflected optical signals to the plurality of output optic fibers.

3. The device of claim 1, wherein said each rotational axis comprises a first rotational axis and a second rotational axis and wherein said each mirror element is operatively tiltable relative to said first and second axes.

4. The device of claim 1, wherein said MEMS mirror array comprises an input mirror array and an output mirror array, said output mirror array being disposed in optical communication with said input mirror array for receiving reflected optical signals from said input mirror array, and for directing the received, reflected optical signals to the plurality of output optic fibers.

5. The device of claim 1, wherein said array of lenses comprises an input array of lenses for receiving optical signals from the plurality of input optic fibers, said device further comprising an output array of lenses in optical communication with said MEMS mirror array for directing the optical signals to the plurality of output optic fibers.

6. The device of claim 4, wherein said array of lenses comprises an input array of lenses for receiving optical signals from the plurality of input optic fibers and for directing the received optical signals to said input mirror array, said device further comprising an output array of lenses in optical communication with said MEMS mirror array for receiving optical signals from said output mirror array and for directing the received optical signals to the plurality of output optic fibers.

7. The device of claim 6, wherein said input array of lenses is coplanar with said output array of lenses.

8. The device of claim 7, wherein said input and output arrays of lenses are formed on a common substrate and are distally displaced from each other to define an area therebetween, said device further comprising a reflecting element disposed on said area for receiving optical signals from said input mirror array and for directing optical signals to said output mirror array.

9. The device of claim 1, wherein the plurality of input optic fibers and the plurality of output optic fibers form an array of optic fibers, said device further comprising a reflector element disposed in optical communication with said MEMS mirror array for receiving optical signals from said MEMS mirror array and for reflecting the received optical signals back to said MEMS mirror array, said reflected optical signals being redirected by said MEMS mirror array back to said array of lenses for receipt by the array of optic fibers.

3. Detailed Description of Invention

BACKGROUND OF THE INVENTION**1. Field of the Invention**

The present invention pertains to fiber optic communications systems and, more particularly, to optical crossconnect configurations utilizing micro electromechanical systems (MEMS) tilting mirror arrays.

2. Description of the Related Art

In fiber optic communication systems, signal routing is essential for directing an optical signal carrying data to an intended location. Existing routing techniques typically experience optical power loss due to inefficient coupling of optic signals between input and output fibers. This increases the dependence on optical power sources (e.g., pump lasers) which are used to compensate for power losses by injecting optical power back into the optical system. The need for optical power sources increases the overall cost of the optical system.

Another criteria for signal routing is the ability to direct a signal received from one of a plurality of input fibers or ports to any of a plurality of output fibers or ports without regard to the frequency of the optical signal. Known optical signal routers are frequency dependent so that frequency dictates the routing of multiple signals, each signal having a discrete wavelength, to output ports based on the signal frequency. For example, and as disclosed in commonly-owned U.S. Patent Application Serial No. 09/414,622, filed October 8, 1999, multiple adjacent-in-frequency wavelengths will be routed to adjacent-in-space output fibers, as opposed to randomly selected output fibers. Accordingly, an optical crossconnect system is desired having flexible frequency routing capability with reduced power loss.

SUMMARY OF THE INVENTION

Improvements over known optical crossconnects are realized by providing an optical crossconnect utilizing an array of tilting micro-electromechanical systems (MEMS) mirrors for directing optical signals from input optic fibers to output optic fibers. The optical crossconnect includes a lens array for receiving optical signals from a plurality of input fibers. The lens array is made of up a plurality of lens elements, with each lens element directing or focussing an optical signal to a MEMS mirror array. The MEMS mirror array includes a plurality of mirror elements, each being tiltable about one or more rotational axes upon the application of control signals to the desired mirror elements. In this manner, optical signals can be directed along various paths and to various output fibers.

In a preferred embodiment, input and output lens arrays are used in conjunction with input and output MEMS mirror arrays. The input lenses direct input optical signals to the input MEMS array which, in turn, reflects each signal in a direction relative to each mirror's tilt orientation. The reflected signals are received and further reflected by the output MEMS mirror array to the output lens array for coupling to output fibers.

In another preferred embodiment, input and output lens arrays are formed on a common substrate, with a reflective surface disposed therebetween, and input and output MEMS mirror arrays are formed on a second common substrate disposed in opposing relation to the first substrate. The reflective surface receives reflected optical signals from the input MEMS array and directs them to the output MEMS array.

In yet another embodiment, an optical element having transmissive properties is disposed in optical communication with a first MEMS mirror array and a second MEMS mirror array. The optical element directs optical signals, either by transmission or reflection, between the first and second mirror arrays to selectively forward optical signals between a first fiber array and a second fiber array.

Other objects and features of the present invention will become apparent from the following detailed description considered in conjunction with the accompanying drawings. It is to be understood, however, that the drawings are designed solely for purposes of illustration and not as a definition of the limits of the invention, for which reference should be made to the appended claims. It should be further understood that the drawings are not necessarily drawn to scale and that, unless otherwise indicated, they are merely intended to conceptually illustrate the structures and procedures described herein.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

In the drawings, wherein like reference numerals denote similar elements throughout the several views.

FIG. 1 is a planar view of an example of a MEMS mirror array used in connection with the present invention;

FIG. 2 is a schematic representation of an optical crossconnect in accordance with one embodiment of the present invention;

FIG. 3 is a schematic representation of an alternative embodiment of the optical crossconnect of FIG. 2;

FIG. 4 is a schematic representation of yet another embodiment of the optical crossconnect of FIG. 2; and

FIG. 5 is a schematic representation of a "folded" optical crossconnect in accordance with still another embodiment of the present invention.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PRESENTLY PREFERRED

EMBODIMENTS

Arrays of two-axis tilt mirrors implemented using micro-electromechanical systems (MEMS) technology allow for the construction of large scale optical crossconnects for use in optical systems. Optical crossconnects are employed to connect a number of input optical paths to a number of output optical paths. Typical requirements of optical crossconnects are that any input be capable of being connected to

any output. One example of a MEMS mirror array 10 is depicted in FIG. 1. The mirror array 10 includes a plurality of tilt mirrors 12 mounted to actuation members or springs 14 and controlled by electrodes (not shown). Each mirror 12 is approximately 100-500 Microns across, may be shaped as square, circular or elliptical, and is capable
5 of rotating or tilting about X-Y axes, with the tilt angle being determined by the amount of voltage applied to the electrodes. Further details of the operation of the MEMS mirror array 10 is found in U.S. patent application Serial No. 09/415,178, filed October 8, 1999, the entire contents of which are incorporated herein by reference. The general concept of utilizing two or more such tilt mirror arrays 10 to form an optical
10 crossconnect is disclosed in U.S. patent application Serial No. 09/410,586, filed October 1, 1999, the entire contents of which are also incorporated herein by reference.

Applicants have discovered that by utilizing one or more MEMS tilt mirror arrays in conjunction with a lens array, various optical crossconnect configurations can be realized of compact size (i.e. minimal spacing between
5 crossconnect components) and exhibiting minimal optical power loss. One such optical crossconnect 100 in accordance with a currently preferred embodiment of the invention is depicted in FIG. 2. Crossconnect 100 receives input optic signals 108 through a plurality of optic fibers 112, preferably formed in an array as is well known in the art. For ease of illustration fiber array 112 is shown as a one-dimensional array having four
10 fibers 112a, 112b, 112c, 112d. It is in any event to be understood that fiber array 112 as well as other fiber arrays discussed herein are preferably two-dimensional $N \times N$ arrays.

Fiber array 112 transmits the optical signals 108 to an array of lenses 114 preferably functioning as collimating lenses. The lens array 114 is positioned relative to the fiber array 112 so that each lens communicates with a corresponding fiber for
5 producing pencil beams 116 from the optic signals 108. Thus, beam 116a is produced from a signal carried by fiber 112a, beam 116d is produced from a signal carried by fiber 112d, etc.

A first MEMS tilt mirror array 118, also referred to as an input array, is positioned in alignment with the lens array 114 so that each mirror element 12 (FIG. 1) will receive a beam 116. The mirror elements are tilted, in a manner discussed in application Serial No. 09/415,178, to reflect the beams 116 to a second or output MEMS mirror array 122 positioned in optical communication with MEMS array 118. Depending on the tilt angle for each mirror element in the input MEMS array 118, the reflected signals can be selectively directed to specific mirror elements in the output MEMS array 122. To illustrate this principle, beam 116a is shown generating reflection beams 120a and 120a' and beam 116d is shown generating reflection beams 120d and 120d'. These beams are received by mirror elements in the output MEMS array 122 and are directed as beams 124 to an output lens array 126. An output fiber array 128 is aligned with the lens array 126 to receive and output optical signals 129. Thus, lens array 126 couples beams 124 into the output fiber array 128.

The crossconnect device 100 contains a 1-to-1 mapping of each output fiber to a mirror in the output mirror array. This is required with single mode fibers because of the small numerical aperture which necessitates coaxial alignment of the input and output beams with the fiber axes to achieve low power loss. The crossconnect of FIG. 2 allows for adequate spacing of the fiber and mirror arrays to limit the required mirror angle excursions.

A typical spacing dimension which will result in reduced diffraction losses is between 50-100 mm. If the mirror, lens and fiber arrays are coplanar, i.e. input fiber array 112, input lens 114 and output mirror array 122 are coplanar with each other, and output fiber array 128, output lens array 126 and input mirror array 118 are coplanar with each other, thus two similar monolithic blocks may be formed. Assembly of the crossconnect will then only require one six-axis alignment.

Another crossconnect configuration 200 in accordance with the invention is illustrated in FIG. 3. Like the crossconnect 100 of FIG. 2, crossconnect 200 contains an array of input lenses 214, and an array of output lenses 226 which communicate

optical signals through an input fiber array 212 and an output fiber array 228, respectively. Input and output MEMS mirror arrays 218 and 222 are spaced apart from lens arrays 214, 226 for directing optical signals between the input fiber array and output fiber array. Unlike crossconnect 100, the device in FIG. 3 has the MEMS mirror arrays and lens arrays positioned on opposite sides of the crossconnect fabric, which allows for ease in construction. In particular, the mirror arrays can be monolithically integrated on a first common substrate and the lens arrays and fiber arrays monolithically integrated on a second common substrate. To provide for signal routing between the MEMS mirror arrays, the lens arrays 214, 226 are formed on a common substrate and spaced apart from each other so that a reflective element 230 can be disposed therebetween. Reflective element 230 may be a separate plane mirror or, preferably, a reflective coating material (e.g. gold) deposited on the lens substrate and positioned for communicating optical signals between mirror array 218 and mirror array 222. Once the lens arrays are in place, crossconnect 200 requires a single six-axis adjustment of the coplanar mirror arrays.

Turning now to FIG. 4, a variation of the crossconnect of FIG. 3 is shown as crossconnect 300. A primary difference from the embodiment of FIG. 3 is the removal of reflective element 230. As shown, mirror arrays 318 and 322 are angled relative to the substrate planes containing lens arrays 314 and 326 so that the optical signals can be communicated directly between the mirror arrays. In this embodiment, the maximum distance between each fiber array (e.g., array 312) and its opposing mirror array (e.g., array 318) can be small. This is an important design consideration, especially if the pointing accuracy of the fiber array is poor. The mirror elements in the mirror arrays can be used not only to adjust the switch connects (e.g., a routing function) but also to compensate for imperfections in the fiber array.

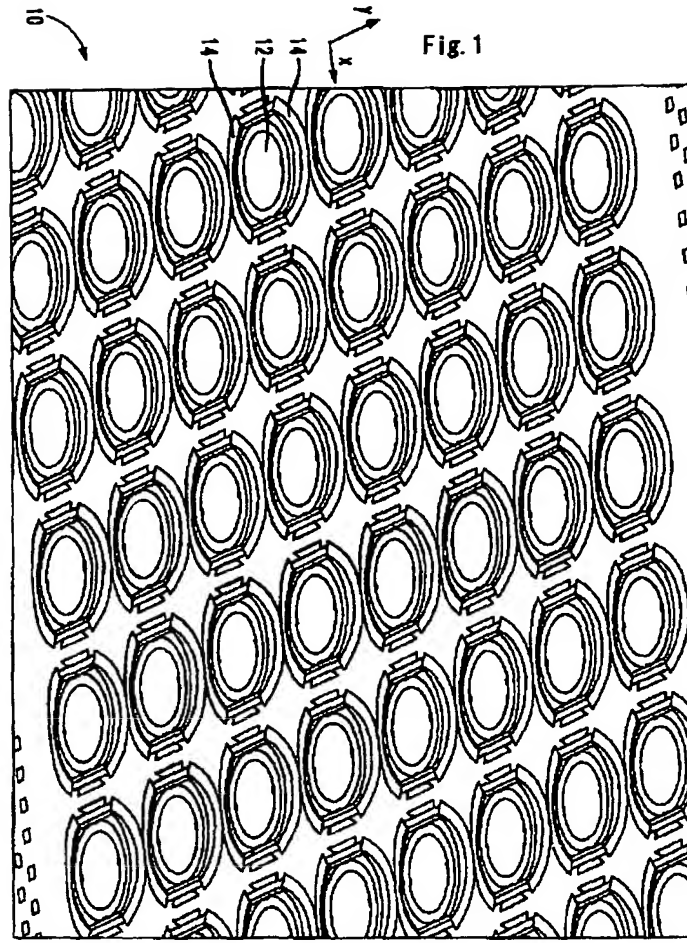
FIG. 5 depicts another crossconnect 400 which employs a plane mirror 430 in an offset configuration relative to a single MEMS mirror array 420. In this further embodiment, a single fiber array 410, single lens array 416 and single MEMS

mirror array 420 are used in a "folded" crossconnect arrangement. The single fiber array functions as a combined input/output array. An input signal 412 is provided to lens array 416 by fiber 414 for imaging on a mirror element 420a. The beam is then reflected to plane mirror 430 and reflected back to mirror element 420b for output through lens array 416 to output fiber 422. It should be noted that in this configuration, there is no distinction between input and output ports. Thus, with a 32 x 32 mirror array with one port unused, the crossconnect can be used as a 1 x 1023 switch, an array of 341 1 x 2 switches, or a 512 x 512 optical crossconnect. Other variations of course exist, as do other mixtures of crossconnect components (e.g. two 1 x 128 switches, sixty-four 2 x 2 switches and one 256 x 256 switches may be used with a 32 x 32 mirror array).

Thus, while there have shown and described and pointed out fundamental novel features of the invention as applied to preferred embodiments thereof, it will be understood that various omissions and substitutions and changes in the form and details of the devices illustrated, and in their operation, may be made by those skilled in the art without departing from the spirit of the invention. For example, it is expressly intended that all combinations of those elements which perform substantially the same function in substantially the same way to achieve the same results are within the scope of the invention. Moreover, it should be recognized that structures and/or elements shown and/or described in connection with any disclosed form or embodiment of the invention may be incorporated in any other disclosed or described or suggested form or embodiment as a general matter of design choice. It is the intention, therefore, to be limited only as indicated by the scope of the claims appended hereto.

4. Brief Description of Drawings

Written above.



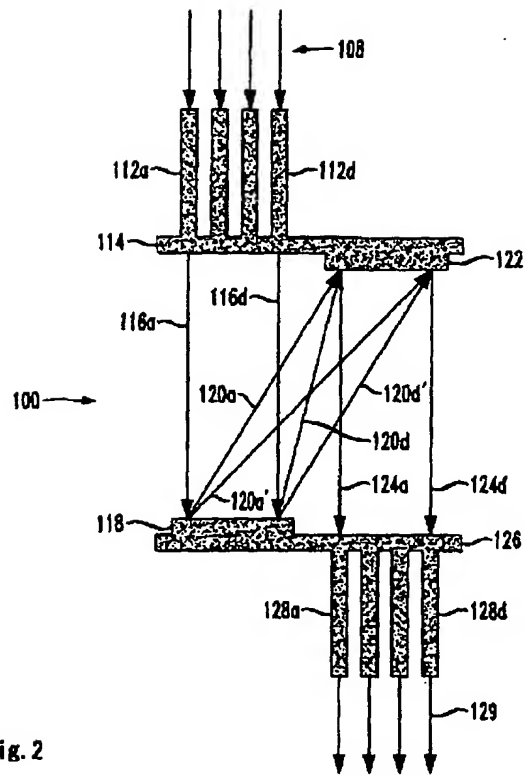
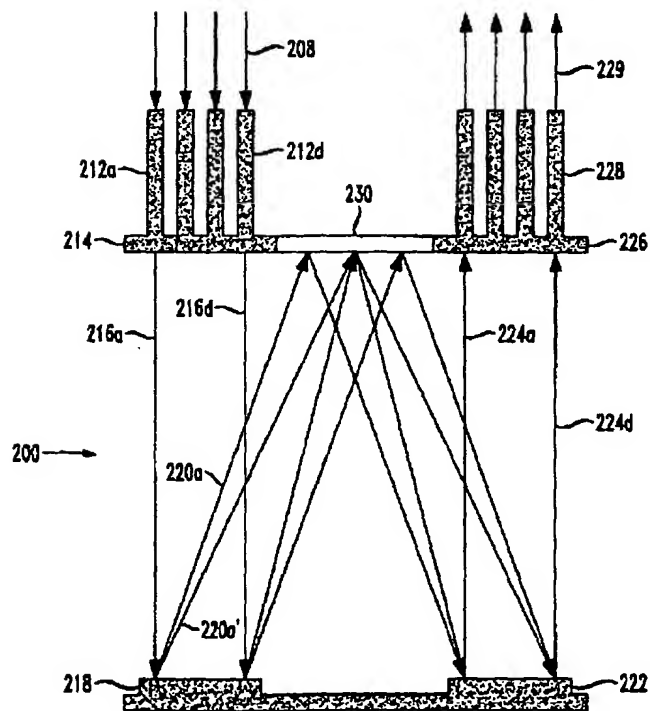
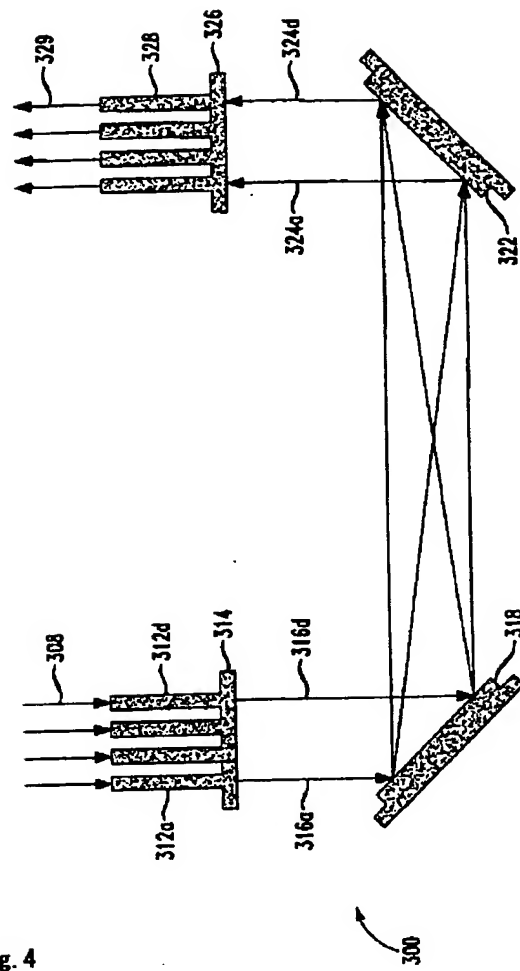


Fig. 2

Fig. 3





An optical crossconnect constructed of micro-electromechanical systems (MEMS) tilt mirror arrays for selectively routing optical signals to optic fibers. The crossconnect includes a lens array for directing optical signals from a fiber array to the MEMS mirror array. Individual mirror elements in the mirror array reflect the optic signals to additional optic elements such as a planar mirror, a transmissive/reflective optical element or a second MEMS mirror array for routing the optical signals to output optic fibers.

2 Representative Drawing

Figure 1